

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-156147

(43)Date of publication of application : 06.06.2000

(51)Int.Cl.

H01J 1/304

H01J 9/02

H01J 29/04

H01J 31/12

(21)Application number : 10-329707

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 19.11.1998

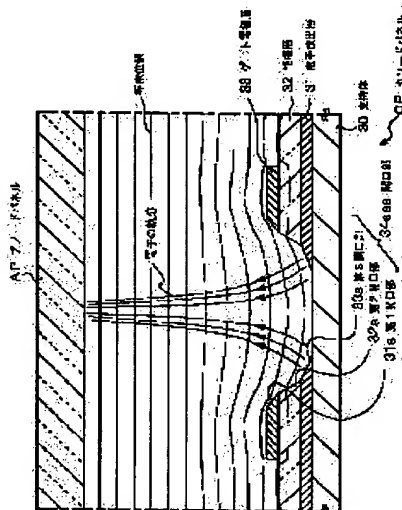
(72)Inventor : TAKAHASHI TOKIKO  
SAITO ICHIRO

## (54) COLD-CATHODE FIELD ELECTRON EMISSION ELEMENT AND COLD- CATHODE FIELD ELECTRON EMISSION TYPE DISPLAY UNIT

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the convergence property of the emitted electron orbit in a field emission element used in flat electrode type display unit.

**SOLUTION:** A cold-cathode field electron emission element is formed by laminating an electron-emitting layer 31, an insulating layer 32, a gate electrode layer 33 on a support 30 in this order, and providing an opening part 34sss passing through the gate electrode layer 33, the insulating layer 32 and the electron-emitting layer 31, and electrons are emitted from the electron-emitting layer 31 exposed inside the opening 34sss. Opening area of the opening 34sss is reduced continuously or intermittently from an upper end side to a bottom surface side of the opening, or reduced in combination with continuous and intermittent reduction.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-156147  
(P 2 0 0 0 - 1 5 6 1 4 7 A)  
(43) 公開日 平成12年6月6日(2000.6.6)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード (参考)
H01J 1/304		H01J 1/30	F 5C031
9/02		9/02	B 5C036
29/04		29/04	
31/12		31/12	C

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全18頁)

(21) 出願番号	特願平10-329707	(71) 出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22) 出願日	平成10年11月19日(1998.11.19)	(72) 発明者	高橋 斗紀子 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	斎藤 一郎 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(74) 代理人	100094363 弁理士 山本 孝久
		F ターム(参考)	5C031 DD17 5C036 EF01 EF06 EG02 EG12 EH01

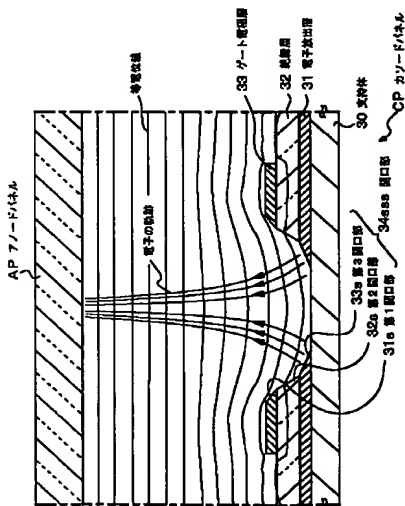
(54) 【発明の名称】 冷陰極電界電子放出素子及び冷陰極電界電子放出型表示装置

(57) 【要約】

【課題】 平面電極型の表示装置に用いられる電界放出素子における放出電子軌道の収束性を改善する。

【解決手段】 冷陰極電界電子放出素子は、支持体30表面に電子放出層31、絶縁層32、ゲート電極層33がこの順に積層され、ゲート電極層33と絶縁層32と電子放出層31とを貫通する開口部34sssが設けられ、開口部34sss内に露出した電子放出層31から電子を放出し、開口部34sssの開口面積は、開口上端部側から開口底面側に向かって連続的に、又は不連続的に、又は連続的及び不連続的の組合せによって減少している。

【図9】



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】支持体表面に、電子放出層、絶縁層、ゲート電極層がこの順に積層され、ゲート電極層と絶縁層とを貫通する開口部が設けられ、開口部の底面に露出した電子放出層から電子を放出する冷陰極電界電子放出素子であって、開口部の開口面積は、開口上端部側から開口底面側に向かって連続的に又は不連続的に減少していることを特徴とする冷陰極電界電子放出素子。

【請求項 2】支持体表面に、電子放出層、絶縁層、ゲート電極層とがこの順に積層され、ゲート電極層と絶縁層とを貫通する開口部が設けられ、開口部の底面に露出した電子放出層から電子を放出する冷陰極電界電子放出素子であって、開口部は、ゲート電極層に設けられた第 1 開口部と、絶縁層に設けられた第 2 開口部とから成り、第 2 開口部の平均開口面積は第 1 開口部の平均開口面積よりも小さいことを特徴とする冷陰極電界電子放出素子。

【請求項 3】第 1 開口部の側壁面及び第 2 開口部の側壁面がいずれも支持体表面に対して垂直であることを特徴とする請求項 2 に記載の冷陰極電界電子放出素子。

【請求項 4】第 1 開口部の側壁面及び第 2 開口部の側壁面の少なくとも一方が、支持体の表面に対して傾斜していることを特徴とする請求項 2 に記載の冷陰極電界電子放出素子。

【請求項 5】支持体表面に電子放出層、絶縁層、ゲート電極層がこの順に積層され、ゲート電極層と絶縁層と電子放出層とを貫通する開口部が設けられ、開口部内に露出した電子放出層から電子を放出する冷陰極電界電子放出素子であって、開口部の開口面積は、開口上端部側から開口底面側に向かって連続的に、又は不連続的に、又は連続的及び不連続的の組合せによって減少していることを特徴とする冷陰極電界電子放出素子。

【請求項 6】支持体表面に電子放出層、絶縁層、ゲート電極層がこの順に積層され、ゲート電極層と絶縁層と電子放出層とを貫通する開口部が設けられ、開口部内に露出した電子放出層から電子を放出する冷陰極電界電子放出素子であって、開口部は、ゲート電極層に設けられた第 1 開口部と、絶縁層に設けられた第 2 開口部と、電子放出層に設けられた第 3 開口部とから成り、第 2 開口部の平均開口面積は第 1 開口部の平均開口面積以下であり、第 3 開口部の平均開口面積は第 2 開口部の平均開口面積よりも小さいことを特徴とする冷陰極電界電子放出素子。

【請求項 7】第 1 開口部の側壁面、第 2 開口部側壁面及び第 3 開口部の側壁面がいずれも支持体表面に対して垂直であることを特徴とする請求項 6 に記載の冷陰極電界

電子放出素子。

【請求項 8】第 1 開口部の側壁面、第 2 開口部の側壁面及び第 3 開口部の側壁面の少なくとも 1 つが、支持体表面に対して傾斜していることを特徴とする請求項 6 に記載の冷陰極電界電子放出素子。

【請求項 9】支持体表面に、電子放出層、絶縁層、ゲート電極層がこの順に積層され、少なくともゲート電極層と絶縁層とを貫通する開口部が設けられ、開口部の底面に露出した電子放出層から電子を放出する冷陰極電界電子放出素子を複数有するカソードパネルと、透明支持体表面に蛍光体層と透明電極層とが形成されて成るアノードパネルとが真空層を挟んで対向配置されて成る冷陰極電界電子放出型表示装置であって、電子放出層、ゲート電極層及び透明電極層に所定の電位を与えた時に、カソードパネルとアノードパネルとの間に形成される電界の等電位線が、開口部の開口上端部側から開口底面側に向かって湾曲することを特徴とする冷陰極電界電子放出型表示装置。

【請求項 10】開口部はゲート電極層と絶縁層とを貫通し、開口部の開口面積は、開口上端部側から開口底面側に向かって連続的に、又は不連続的に減少していることを特徴とする請求項 9 に記載の冷陰極電界電子放出型表示装置。

【請求項 11】開口部は、ゲート電極層に設けられた第 1 開口部と、絶縁層に設けられた第 2 開口部とから成り、第 2 開口部の平均開口面積は第 1 開口部の平均開口面積よりも小さいことを特徴とする請求項 9 に記載の冷陰極電界電子放出型表示装置。

【請求項 12】開口部はゲート電極層と絶縁層と電子放出層とを貫通し、開口部の開口面積は、開口上端部側から開口底面側に向かって連続的に、又は不連続的に、又は連続的及び不連続的の組合せによって減少していることを特徴とする請求項 9 に記載の冷陰極電界電子放出型表示装置。

【請求項 13】開口部は、ゲート電極層に設けられた第 1 開口部と、絶縁層に設けられた第 2 開口部と、電子放出層に設けられた第 3 開口部とから成り、第 2 開口部の平均開口面積は第 1 開口部の平均開口面積以下であり、第 3 開口部の平均開口面積は第 2 開口部の平均開口面積よりも小さいことを特徴とする請求項 9 に記載の冷陰極電界電子放出型表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、冷陰極電界電子放出素子及び冷陰極電界電子放出型表示装置に関する。

【0002】

【従来の技術】現在主流の陰極線管（CRT）に代わる画像表示装置として、平面型（フラットパネル形式）の表示装置が種々検討されている。このような平面型の表示装置としては、液晶表示装置（LCD）、エレクトロ

ルミネッセンス表示装置(ESD)、プラズマ表示装置(PDP)が例示される。又、熱的励起によらず固体から真空中に電子を放出することが可能な冷陰極電界電子放出型の表示素子、所謂フィールドエミッションディスプレイ(FED)も提案されており、画面の明るさ及び低消費電力の観点から注目を集めている。

【0003】冷陰極電界電子放出型の表示装置(以下、単に、表示装置と称する場合がある)は、一般に、2次元マトリクス状に配列された各画素に対応して電子放出部を有するカソードパネルと、この電子放出部から放出された電子との衝突により励起されて発光する蛍光体層を有するアノードパネルとが、真空層を介して対向配置された構成を有する。カソードパネル上の各画素においては、通常、複数の電子放出部が形成され、更に、これら電子放出部から電子を引き出すためのゲート電極も形成されている。この電子放出部とゲート電極(あるいはゲート電極層)から構成された部分を、電界放出素子と称することとする。

【0004】かかる表示装置の構成において、低い駆動電圧で大きな放出電子電流を得るためには、電子放出部の先端形状を鋭く尖らせた形状とすること、個々の電子放出部を微細化して、一画素に対応する区画内における電子放出部の存在密度を高めること、電子放出部の先端とゲート電極との距離を短縮することが必要である。従って、これらを実現するために、従来より様々な構成を有する冷陰極電界電子放出素子が提案されている。

【0005】従来の表示装置の代表例の1つとして、例えば Journal of Applied Physics, Vol. 47, No. 12 (1976), p. 5248~5263 に記載されるような、電子放出部を円錐形の導電体で構成した、所謂スピント(Spindt)型表示装置が知られている。この表示装置においては、カソードパネル側の支持体表面にカソード電極層、絶縁層及びゲート電極層が順次形成されており、ゲート電極層及び絶縁層を貫通するように、直径1 $\mu$ m程度以下の微細な開口部が2次元マトリクス状に多数形成され、各開口部の底面を構成するカソード電極層の上に電子放出部が1つずつ位置する。開口部の開口端部を構成するゲート電極に電圧が印加されると、これによって生ずる電界の強度に応じて、電子放出部の先端部から電子が放出される。放出された電子は、開口部の外へ引き出され、カソードパネルと0.1~1mmの間隔を隔てて対向配置されたアノードパネルの上の蛍光体層に衝突し、この蛍光体層を励起・発光させ、所望の画像の形成に寄与する。

【0006】上記の円錐形の電子放出部は、導電材料を垂直蒸着する過程で開口部の開口端付近に形成される導電材料のオーバーハング状の堆積物による遮蔽効果を利用して、開口部の内部に入射可能な蒸着粒子の量を経時的に減少させることで自己整合的に形成される。一般的な電子放出部の高さは1 $\mu$ m以下、先端部の曲率半径は

数十nm以下である。スピント型表示装置の1画素には、通常、上述のように微細な円錐形の電子放出部が数十~数千個含まれる。従って、数百万画素を有する対角画面寸法17インチ以上の表示装置を構成するには、億単位の個数の電子放出部を精度良く形成することが必要となる。

【0007】米国特許第5528103号には、かかるスピント型表示装置の改良型として、隣接するストライプ状の各ゲート電極の間にストライプ状の収束電極を配した表示装置が開示されている。この収束電極は、電子放出部の先端部から放出された電子の軌道が発散し、電子が隣接画素の蛍光体層に衝突して色濁りを起こす現象、即ち光学的クロストークを防止するために設けられている。収束電極は、導電体層、誘電体層、表面の少なくとも一部を導電体被膜で覆った誘電体層等の材料から構成可能であり、収束電極の高さはゲート電極の高さの10倍以上、より好ましくは100倍以上とされる。

【0008】又、スピント型とは別のタイプの表示装置として、円錐形の電子放出部の代わりに、層状の電子放出部を備えた平面電極型の表示装置も知られている。この表示装置における電界放出素子は、支持体である絶縁性基板の上に電子放出層、絶縁層、ゲート電極層が順次積層されて成り、ゲート電極層と絶縁層とを貫通する開口部が設けられており、この開口部の底面に露出した電子放出層から電子が放出される。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述のいずれのタイプの従来の表示装置にも、それぞれに問題がある。まず、スピント型表示装置については、寸法精度上の理由から大画面化への対応が困難である。即ち、電子放出部をはじめとする各部の寸法がミクロン・オーダーであるため、これらを作製するためには更に1桁小さい加工精度が必要であり、半導体集積回路の製造と同等のプロセスや製造装置が必要となる。しかし、対角画面寸法が17インチを超えるような中~大型の表示装置を製造するための製造装置は、極めて大規模となる。加えて、かかる大面積のカソードパネルの全体に亘って、数億個にも上る電子放出部の形状や寸法、及び電子放出部の先端部からゲート電極の縁部までの距離を均一に揃えることは、実際には極めて困難であり、何らかの面内ばらつきやロット間ばらつきは避けられない。このばらつきは、表示装置の画像表示特性、例えば画像の明るさにばらつきを発生させる原因となる。これらの問題点は、米国特許第5528103号に記載されるような収束電極を備える表示装置においても解決されてはいない。

【0010】一方、平面電極型の表示装置では、スピント型表示装置の欠点がかかなり解消されている。即ち、ゲート電極層の縁部から電子放出層までの距離は、絶縁層の厚さでほぼ決定することができるため、この距離の制

10

20

30

40

50

御はスピント型表示装置の場合に比べて遥かに容易である。従って、大面積の支持体上でも電子放出部の電子放出特性を均一化することが容易となり、表示装置の画像の明るさも均一化され得る。しかし、電子放出部の形状がスピント型表示装置におけるような先鋭な端点ではなく、平面であるため、放出電子軌道の収束性に本質的に劣るという問題を抱えている。

【0011】そこで、1つの解決策として、平面電極型の表示装置の電界放出素子に、米国特許第5528103号に記載されるような収束電極を設ける構成が考えられる。図13は、かかる構成の概念図である。図13の(A)に示す電界放出素子においては、支持体60上に電子放出層61、絶縁層62及びゲート電極層63が順次積層され、ゲート電極層63と絶縁層62を垂直に貫通する開口部64が設けられている。開口部64の底面に露出する電子放出層61の部分が、電子放出部として機能する部分である。ゲート電極層63の上であって、且つ開口部64を挟む領域には、一対の収束電極67が設けられている。収束電極67には、電子放出層61やゲート電極層63とは独立した電位を印加する必要があるため、絶縁性の支柱部65の一部を導電膜66で被覆した構成とする。

【0012】図13の(B)に示すカソードパネルは、図13の(A)の変形例である。絶縁層62の上であって、且つ、ゲート電極層73が設けられていない領域に、開口部64を挟む一対の収束電極77が設けられている。この収束電極77は、ゲート電極層73と接していないため、全体を導電材料で構成することができる。図13の(A)及び(B)に示すこれらのカソードパネルにおいて、電子放出層61の法線に対して比較的小さな角度で放出された電子 $e_1$ は、そのままアノードパネル方向に進行するが、比較的大きな角度で放出された電子 $e_2$ は、収束電極67、77が形成する電界の作用により途中で軌道が曲げられ、発散が抑制される。

【0013】しかしながら、米国特許第5528103号にも記載されるように、収束電極67、77の高さは、ゲート電極層63、73の高さ(厚さ)の10倍以上、好ましくは100倍以上とされる。このように寸法の桁が大きく異なる部材を同一基板上に作製することは、実際には容易ではない。収束電極67の支柱部65及び収束電極77の形成方法としては、スクリーン印刷法、エッチング法、サンドブラスト法を例示することができるが、いずれの方法も形成に時間がかかったり、プロセスが煩雑化する等の問題があり、スループットが大幅に低下する虞れがある。更に、図13の(A)に示した構成においては、収束電極67の支柱部65の付け根部分に導電膜66を被着させないために、導電膜66を斜め蒸着あるいは斜めスパッタリング法により成膜する必要がある。しかし、このような導電膜66の成膜方法は、対角画面寸法が数インチ程度の表示装置用のカソ

ードパネルに対して適用する限りはそれ程困難ではないが、寸法が十数インチ程度に大きくなると、適用は困難となる。これは、カソードパネル面内の各地点において、導電膜66を構成するための成膜材料粒子の入射方向が微妙に変化するために、カソードパネル上の地点によっては、支柱部65の付け根部分にも導電膜66が被着され、収束電極67に独自の電位を与えることができなくなる虞れが大きいためである。

【0014】このように、従来の表示装置に使用されている冷陰極電界電子放出素子では、放出電子軌道の優れた収束性、大画面化にも対応し得る電子放出特性の均一化、製造の容易性といった要件を実用上十分なレベルで同時に満足させることは、極めて困難である。

【0015】従って、本発明の目的は、これらの各要件を高いレベルで満足させることが可能な冷陰極電界電子放出素子(以下、電界放出素子と称する)とこれを用いた冷陰極電界電子放出型表示装置(以下、表示装置と称する)を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明は、電子放出層、絶縁層、ゲート電極層の3つの層から成る積層体に、電子放出を可能とするための開口部を形成して成る電界放出素子において、開口部の断面形状の工夫を通じて開口部近傍に形成される電界を湾曲させることで、一種の電界レンズ効果を創出でき、そして、この効果を利用すれば、従来のように煩雑なプロセスを経て高さの高い収束電極を設けることなく、放出電子軌道の発散を抑制できる、との知見に基づいて提案されるものである。

【0017】即ち、本発明の第1の態様に係る電界放出素子は、支持体表面に、電子放出層、絶縁層、ゲート電極層とがこの順に積層され、ゲート電極層と絶縁層とを貫通する開口部が設けられ、開口部の底面に露出した電子放出層から電子を放出する電界放出素子であって、開口部の開口面積は、開口上端部側から開口底面側に向かって連続的に又は不連続的に減少していることを特徴とする。

【0018】あるいは又、本発明の第2の態様に係る電界放出素子は、支持体表面に、電子放出層、絶縁層、ゲート電極層がこの順に積層され、ゲート電極層と絶縁層とを貫通する開口部が設けられ、開口部の底面に露出した電子放出層から電子を放出する電界放出素子であって、開口部は、ゲート電極層に設けられた第1開口部と、絶縁層に設けられた第2開口部とから成り、第2開口部の平均開口面積 $S_{1..}$ は第1開口部の平均開口面積 $S_{2..}$ よりも小さい( $S_{1..} < S_{2..}$ )ことを特徴とする。ここで、平均開口面積を、「開口部の上端部における開口面積と、開口部の下端部における開口面積との平均値」と定義する。この定義は、側壁面が垂直な開口部に適用しても構わないが、側壁面が傾斜した開口部の開口面積を規定する上で特に有用である。本発明の第1若

しくは第2の態様に係る電界放出素子においては、上記開口部は2つの層、即ちゲート電極層と絶縁層とを貫通しているので、かかる構成を「2開口系」と称することにする。

【0019】図1は、2開口系として可能な開口部のパターンを一覧表形式で示す概念図である。図1では、説明を簡略化するために、開口部近傍の構成要素としてゲート電極層G、絶縁層D、及び電子放出層Eのみを示し、しかも、開口部の左半分断面のみを示す。2開口系では、電子放出層Eを貫通するような開口部は形成されず、開口部の底面に露出した電子放出層Eから電子が放出される。一覧表の縦方向の2列は、絶縁層Eの側壁面のプロファイルを基準とした分類であり、1系は垂直、2系は傾斜である。また、一覧表の横方向の4行は、ゲート電極層Gの側壁面のプロファイル、及びゲート電極層Gと絶縁層Dとの連続性を基準とした分類であり、a系はゲート電極層Gが垂直且つ連続的、b系はゲート電極層Gが垂直且つ不連続的、c系はゲート電極層Gが傾斜且つ連続的、d系はゲート電極層Gが傾斜且つ不連続的である場合をそれぞれ表す。なお、ここで述べる「連続的」とは、ゲート電極層Gに設けられた第1開口部の下端部と絶縁層Dに設けられた第2開口部の上端部との位置が一致している状態、「不連続的」とは一致していない状態をそれぞれ指すものとする。また、電子放出層Eの下に位置する支持体の表面に対して開口部の側壁面が垂直である場合を「垂直」、傾斜している場合を「傾斜」と表現する。図1において、上記の2列と4行との組合せによれば、一見、8種類のパターンが存在するように思われるが、垂直な絶縁層Dと垂直なゲート電極層Gとが連続するような開口部は、「開口上端部側から開口底面側に向かって開口面積が縮小する」、あるいは「 $S_{1..} < S_{2..}$ 」という本発明の第1若しくは第2の態様に係る電界放出素子に対する要件を満たしていないので、除外する。従って、本発明にて構成可能な2開口系は、7パターン存在する。

【0020】本発明の第3の態様に係る電界放出素子は、支持体表面に電子放出層、絶縁層、ゲート電極層がこの順に積層され、ゲート電極層と絶縁層と電子放出層とを貫通する開口部が設けられ、開口部内に露出した電子放出層から電子を放出する電界放出素子であって、開口部の開口面積は、開口上端部側から開口底面側に向かって連続的に、又は不連続的に、又は連続的及び不連続的の組合せによって減少していることを特徴とする。

【0021】あるいは又、本発明の第4の態様に係る電界放出素子は、支持体表面に電子放出層、絶縁層、ゲート電極層がこの順に積層され、ゲート電極層と絶縁層と電子放出層とを貫通する開口部が設けられ、開口部内に露出した電子放出層から電子を放出する電界放出素子であって、開口部は、ゲート電極層に設けられた第1開口部と、絶縁層に設けられた第2開口部と、電子放出層に

設けられた第3開口部とから成り、第2開口部の平均開口面積 $S_{2..}$ は第1開口部の平均開口面積 $S_{1..}$ 以下であり( $S_{1..} \leq S_{2..}$ )、第3開口部の平均開口面積 $S_{3..}$ は第2開口部の平均開口面積 $S_{2..}$ よりも小さい( $S_{1..} < S_{3..}$ )ことを特徴とする。第3の態様若しくは第4の態様における開口部は、3つの層、即ちゲート電極層と絶縁層と電子放出層とを貫通しているので、かかる構成を「3開口系」と称することにする。

【0022】図2及び図3は、3開口系として可能な開口部のパターンを一覧表形式で示す概念図である。図2には、3開口系の中でも絶縁層Dが垂直なグループ、図3には絶縁層Dが傾斜したグループをそれぞれ纏めた。両図共、一覧表の縦方向の3列は、絶縁層Dと電子放出層Eとの組合せによる分類である。即ち、11系及び21系は電子放出層Eが垂直且つ絶縁層Dと不連続、12系及び22系は電子放出層Eが傾斜且つ絶縁層Dと連続、13系及び23系は電子放出層Eが傾斜且つ絶縁層Dと不連続である。また、両図共、一覧表の横方向の4行は、ゲート電極層Gと絶縁層Dとの組合せによる分類である。即ち、a系はゲート電極層Gが垂直且つ絶縁層Dに対して連続的、b系はゲート電極層Gが垂直且つ絶縁層Dに対して不連続的、c系はゲート電極層Gが傾斜且つ絶縁層Dに対して連続的、d系はゲート電極層Gが傾斜且つ絶縁層Dに対して不連続的である場合をそれぞれ表す。図2及び図3のそれぞれにおいて、これら3列と4行との組合せにより12種類、計24種類のパターンが存在する。なお、ここで述べる「連続的」とは、ゲート電極層Gに設けられた第1開口部の下端部と絶縁層Dに設けられた第2開口部の上端部との位置、あるいは又、絶縁層Dに設けられた第2開口部の下端部と電子放出層Eに設けられた第3開口部の上端部との位置が一致している状態、「不連続的」とは一致していない状態をそれぞれ指すものとする。

【0023】なお、図2と図3には、絶縁層Dと電子放出層Eとの組合せとして、「電子放出層Eが垂直且つ絶縁層Dと連続」という組合せが記載されていない。かかる組合せは、b系、c系、及びd系において本発明の要件を満たすが、電子放出層Eの端部が絶縁層Dの側壁面から突出しない構造となるために、実用上十分な電子放出効率を得ることは困難と考えられるので、ここでは一応除外しておく。

【0024】本発明の第4の態様に係る電界放出素子においては、第2開口部の平均開口面積 $S_{2..}$ は第1開口部の平均開口面積 $S_{1..}$ 以下であるが( $S_{1..} \leq S_{2..}$ )、第2開口部の平均開口面積 $S_{2..}$ が第1開口部の平均開口面積 $S_{1..}$ と同じ場合( $S_{1..} = S_{2..}$ )とは、図2のパターン11a、12a、13aに相当し、第2開口部の平均開口面積 $S_{2..}$ が第1開口部の平均開口面積 $S_{1..}$ よりも小さい場合( $S_{1..} < S_{2..}$ )とは、図2及び図3において上記パターン11a、12a、1

3 a 以外の全てのパターンに相当する。

【0025】なお、第1及び第2の態様に係る電界放出素子における第1開口部及び第2開口部、若しくは第3及び第4の態様に係る電界放出素子における第1～第3開口部の少なくともいずれかにおいて、上端部と下端部とで開口部の平面形状が変化しているような場合、開口部の側壁面の断面プロファイルが複雑に変化し、開口部が必ずしも開口上端側から開口底面側に向かって減少していない場所が局部的に発生する可能性もある。しかし、本発明では、開口部が全体として電界レンズ効果を創出し得る限りにおいて、かかる局部的な変形は許容されるものとする。

【0026】電界放出素子を構成する各層の材料や厚さを同じとし、また絶縁層に設けられた第2開口部の底面側の面積を同じと仮定すると、2開口系の方が3開口系に比べて放出電子軌道の収束性が強化される。即ち、電界レンズの焦点距離が短縮した効果が得られる。また、2開口系同士、あるいは3開口系同士で比較すると、より多くの層が傾斜面を持つほど、また不連続部の数が多いほど、放出電子軌道の収束性が強くなる。例えば、図1に示した各パターンの中では、パターン1bよりもパターン2cの方が電界レンズの収束効果が大きく、パターン2dの方が更に収束効果が大きい。また、図2及び図3に示した各パターンの中では、パターン11aよりもパターン11bの方が電界レンズの収束効果が大きく、パターン23cはより大きく、パターン23dは更に大きい。なお、図1、図2及び図3には記載しなかったが、傾斜面の数や不連続部の数が等しい場合には、傾斜面の傾きが小さいほど、また不連続部の水平距離が長いほど、電界レンズの収束効果が大きくなる。なお、複数の傾斜面が存在する場合、各傾斜面の勾配はそれぞれに異なってもよい。

【0027】なお、本発明においては、ゲート電極層Gと電子放出層Eとアノード電極層との電位の組合せや、電子放出層Eとアノード電極層との間の距離、絶縁層の厚さ、開口部の平均開口面積や形状によっては、電子の最収束地点がアノードパネル上の蛍光体層の表面に合致せず、蛍光体層の手前にずれたり、あるいは蛍光体層を越えた地点にずれる場合もある。しかし、ある画素内で放出された電子が隣接画素に侵入しない限りにおいて、電子の最収束地点が蛍光体層の表面からずれていても構わない。

【0028】例えば、図1のパターン1bに示す本発明の第1若しくは第2の態様に係る電界放出素子において、ゲート電極層Gに設けるべき第1開口部の平面形状を円形（直径g）、絶縁層Dに設けるべき第2開口部の平面形状を円形（直径h）、絶縁層の厚さをdとして、以下、g、h、dの関係を説明する。

【0029】ゲート電極層及びアノード電極層に適切な電位を加えると、後述する図6に示すと同様に、電子放

出層Eの表面近傍における電界の等電位線が、 $g/d$ に依存して、開口部の開口上端部側から開口底面側に向かって湾曲する。 $g/d$ がおよそ1以下では、 $g/d$ の値を変えても電子放出層Eの表面近傍における電界強度には殆ど変化が認められない。一方、 $g/d$ がおよそ1付近を越えると、 $g/d$ の値が大きくなるに従い、電子放出層Eの表面近傍における電界強度の変化が大きくなる。即ち、カソードパネルとアノードパネルとの間に形成される電界の等電位線が、開口部の開口上端部側から開口底面側に向かって湾曲する割合が大きくなる。従って、 $g/d$ は1より大きくなるように設計することが好ましい。

【0030】また、電界レンズの収束効果（あるいは発散を抑制する効果）も $g/d$ に依存する。即ち、 $g/d$ の値が大きくなるほど、電界レンズの収束効果は小さくなる。言い換えれば、例えば凸レンズとしての機能を有する電界レンズの焦点距離Fが長くなる。従って、アノード電極層とゲート電極層との間の距離、アノード電極層の電位、及び、アノードパネル上の蛍光体層に衝突する電子ビームのスポット径といった設計仕様値に基づき、 $g/d$ の値を決定する必要がある。つまり、電子ビームのスポット径を小さくするためには、 $g/d$ の値を小さくし、アノード電極層とゲート電極層との間の距離を短くし、アノード電極層の電位を高くすればよい。ところで、冷陰極電界電子放出型表示装置に要求される輝度からアノード電極層に加えるべき電位が決定され、アノード電極層に加えるべき電位に基づきアノード電極層とゲート電極層との間の距離が決定され、これらの決定された値に基づき $g/d$ の値が決定される。

【0031】また、絶縁層Dに設けられた第2開口部の底面に露出した電子放出層Eから電子が放出されるので、第2開口部の直径hが小さくなれば電子ビームの径が小さくなる。然るに、電子ビームの径が小さくなると、電子ビームに及ぼす電界レンズの収束効果（あるいは発散を抑制する効果）が小さくなる。従って、電子ビーム電流と画素の大きさ、閾値電界（電界放出層Eからの電子放出が生ずる電界強度の閾値）に基づき、最初に、絶縁層Dに設けるべき第2開口部の直径hの値を決定する。

【0032】開口部の側壁面を支持体の表面に対して傾斜させると、 $g/d$ を大きくしたと同じ効果を得ることができる。但し、電界の等電位線が開口部の傾斜壁に沿って緩やかに変化するので、側壁面が垂直な開口部の平均開口面積と、側壁面が傾斜している開口部の平均開口面積とが等しい場合、側壁面が傾斜している開口部に基づき生じる電界レンズの方が収束効果はより小さくなる。

【0033】本発明において、電界放出素子を構成する各層の垂直壁や傾斜壁は、いかなる方法により形成してもよい。垂直壁は、蒸着法、スパッタリング法、CVD

法、イオン・プレーティング法等、通常の薄膜形成プロセスで作製された被加工層を異方的にエッチングしたり、あるいはレジスト・パターンを利用してリフトオフ・プロセスを行うことにより、簡便に形成することができる。一方、傾斜壁は、ドライエッチング法、リソグラフィ法、あるいはスクリーン印刷法やグラビア印刷法等の印刷法により形成可能である。傾斜壁をドライエッチング法で形成する場合には、エッチング反応の過程で生成する堆積性物質によるレジスト・マスクのパターン幅太りを利用して、被加工層の側壁面を傾斜させることができる。あるいは、被加工層の上に傾斜壁を有するレジスト・マスクを形成しておき、このレジスト・マスクも一緒に除去し得る条件でエッチングを行うことにより、レジスト・マスクのエッジ・プロファイルを被加工層に転写してもよい。被加工層自身が感光性材料から成る場合には、意図的なデフォーカス露光を行って感光領域の厚さ方向分布を制御することで、現像後の被加工層の側壁面を傾斜面とすることができる。あるいは、各層の構成材料を含むペースト状のインキを印刷法により塗布すると、インキの自重により塗膜のエッジがだれるので、自然に傾斜壁が得られる。

【0034】本発明の電界放出素子を構成する支持体は、少なくとも表面が絶縁性部材より構成されていればよく、ガラス基板、表面に絶縁膜が形成されたガラス基板、石英基板、表面に絶縁膜が形成された石英基板、表面に絶縁膜が形成された半導体基板を用いることができる。又、電子放出層に対する親和性を改善するために、支持体の表面にプライマー等から成る下地層が形成されていてもよい。

【0035】電子放出層は、タングステン(W)、ニオブ(Nb)、タンタル(Ta)、チタン(Ti)、モリブデン(Mo)、クロム(Cr)、アルミニウム(Al)、銅(Cu)等の金属層又はこれらの金属元素を含む合金層、あるいは不純物を含有するシリコン等の半導体層を用いて形成することもできるが、導電性微粒子を分散させた導電性ペーストを用いて形成することが一層好適である。

【0036】導電性微粒子としては、グラファイト粉末；酸化バリウム粉末、酸化ストロンチウム粉末、金属粉末の少なくとも一種を混合したグラファイト粉末；窒素、リン、ホウ素、トリアゾール等の不純物を含むダイヤモンド粒子又はダイヤモンド・カーボン粉末；シリコン・カーバイド粉末を例示することができる。特に、導電性微粒子としてグラファイト粉末を選択することは、閾値電界の低減や電子放出部の耐久性の観点から好ましい。導電性微粒子の形状を、球状、鱗片状の他、あらゆる定形形状や不定形形状とすることができる。また、導電性微粒子の粒径は、電子放出層の厚さやパターン幅以下であればよい。粒径が小さい方が、単位面積当たりの放出電子数を増大させることができるが、あまり

小さ過ぎると電子放出層の導電性が劣化する虞れがある。よって、好ましい粒径の範囲はおおよそ0.01～4.0 $\mu$ mである。かかる導電性微粒子をガラス成分その他の適当な結合剤と混合して導電性ペーストを調製し、この導電性ペーストを用いて印刷法により所望のパターンを形成し、パターンを焼成することによって電子放出層を形成することができる。

【0037】平面電極型の表示装置では、電子放出層に相対的に負の電位、ゲート電極層に相対的に正の電位、アノードパネル側のアノード電極層に相対的に正の電位（但し、ゲート電極層に与える電位よりは高い）を与え、電子放出層とアノード電極層とが重複する空間領域に発生する電界強度が所定の閾値（閾値電界）の値を超えた時に、電子放出が生ずる。スピント型表示装置では、かかる電界強度の閾値（閾値電界）は一般に10<sup>7</sup> V/cm程度であるが、本発明の電界放出素子を組み込んだ表示装置では、これを10<sup>4</sup>～10<sup>6</sup> V/cmのオーダーに低減させることが可能である。このため、電子放出層に印加する電圧を手かさせることができ、表示装置の消費電力の低減につながる。また、スピント型表示装置ではイオン衝撃による電子放出部の先端部の劣化が避けられず、この劣化を少しでも低減するために、表示装置の内部の真空度として1.3×10<sup>-5</sup>～1.3×10<sup>-4</sup> Pa (1×10<sup>-7</sup>～1×10<sup>-6</sup> Torr) 程度のオーダーが必要とされていた。しかし、本発明の電界放出素子においては、電子放出部のイオン衝撃に対する耐性が高く、真空度は一桁低い1.3×10<sup>-4</sup>～1.3×10<sup>-5</sup> Pa (1×10<sup>-6</sup>～1×10<sup>-7</sup> Torr) 程度のオーダーで十分である。従って、表示装置の高真空設計が容易となり、表示画面の大面積化へ対応する上で有利となる。

【0038】絶縁層の構成材料としては、SiO<sub>2</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiON、ガラス・ペースト硬化物を単独あるいは適宜積層して使用することができる。絶縁層の成膜には、CVD法、塗布法、スパッタリング法、印刷法等の公知のプロセスが利用できる。

【0039】ゲート電極層は、タングステン(W)、ニオブ(Nb)、タンタル(Ta)、チタン(Ti)、モリブデン(Mo)、クロム(Cr)、アルミニウム(Al)、銅(Cu)、銀(Au)等の金属層又はこれらの金属元素を含む合金層、あるいはダイヤモンド等の半導体層を用いて形成することができる。

【0040】開口部の平面形状は特に規定されないが、一般に円、楕円、あるいはn角形（但し、nは3以上の整数）が可能である。n角形は、正n角形でなくてもよく、又、その頂点は丸みを帯びていてもよい。第1及び第2の壱様に係る電界放出素子における第1開口部の平面形状と第2開口部の平面形状、あるいは第3及び第4の壱様に係る電界放出素子における第1開口部の平面形状、第2開口部の平面形状、及び第3開口部の平面形状



は、互いに相似であっても無くてもよい。又、第 1～第 4 の態様に係る電界放出素子におけるゲート電極層に穿設される第 1 開口部の平面形状は、ゲート電極層の厚さ方向の任意の点を含む仮想平面において常に相似でなくともよい。第 1～第 4 の態様に係る電界放出素子において、絶縁層に穿設される第 2 開口部の平面形状は、絶縁層の厚さ方向の任意の点を含む仮想平面において常に相似でなくともよい。更に、第 3 及び第 4 の態様に係る電界放出素子において、電子放出層に穿設される第 3 開口部の平面形状は、電子放出層の厚さ方向の任意の点を含む仮想平面において常に相似でなくともよい。又、表示装置全体としては、同一のカソードパネル上に第 1～第 4 の態様に係る電界放出素子が混在していても構わない。

【0041】本発明の表示装置は、支持体表面に、電子放出層、絶縁層、ゲート電極層がこの順に積層され、少なくともゲート電極層と絶縁層とを貫通する開口部が設けられ、開口部の底面に露出した電子放出層から電子を放出する電界放出素子を複数有するカソードパネルと、透明支持体表面に蛍光体層と透明電極層とが形成されて成るアノードパネルとが真空層を挟んで対向配置され、電子放出層、ゲート電極層及び透明電極層に所定の電位を与えた時に、カソードパネルとアノードパネルとの間に形成される電界の等電位線が、開口部の開口上端部側から開口底面側に向かって湾曲することを特徴とする。電界放出素子としては、第 1～第 4 の態様に係る電界放出素子を用いることができる。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、発明の実施の形態（以下、実施の形態と略称する）に基づき、本発明の電界放出素子の典型的な構成例について説明する。

【0043】（実施の形態 1）実施の形態 1 は、本発明の第 1 及び第 2 の態様に係る 2 開口系の電界放出素子に関する。実施の形態 1 に係る電界放出素子を、図 4 に示す。ここで、図 4 の (B) は開口部の立体形状を示す概略斜視図であり、図 4 の (A) は図 4 の (B) の X-X 線に沿った 1 つの開口部近傍の模式的な一部断面図である。図 4 の (B) では、図示の都合上、絶縁層と支持体とを省略しているが、絶縁層に設けられた開口部を破線で示す。また、ゲート電極層と電子放出層との距離を、若干拡大して示している。

【0044】なお、図 4 も含め、本明細書において参照する以下の各図面においては、開口部を示す参照番号に添字を付すが、添字「v」は第 1～第 3 開口部の側壁面が垂直壁である場合を示し、添字「s」は第 1～第 3 開口部の側壁面が傾斜壁である場合を表すものとする。

又、2 連の添字は、第 1 開口部と第 2 開口部とから構成される開口部を表すために用い、最初の文字は第 1 開口部、2 番目の文字は第 2 開口部の各側壁面のプロファイ

ルをそれぞれ表す。例えば、「開口部 34sv」と表記した場合には、側壁面の垂直な第 1 開口部と側壁面の傾斜した第 2 開口部とが組み合わせられたパターン 2a 又はパターン 2b（図 1 参照）を指す。更に、3 連の添字は、第 1 開口部と第 2 開口部と第 3 開口部とから構成される開口部を表すために用い、最初の文字は第 1 開口部、2 番目の文字は第 2 開口部、3 番目の文字は第 3 開口部の各側壁面のプロファイルを表す。例えば、「開口部 34svs」と表記した場合には、側壁面の傾斜した第 1 開口部と、側壁面の傾斜した第 2 開口部と、側壁面の垂直な第 3 開口部とが組み合わせられたパターン 21c 又はパターン 21d（図 3 参照）を指す。また、あらゆる形状の開口部を総称する場合は、添字を使用せず、「開口部 34」のように記載する。

【0045】図 4 に示す電界放出素子において、支持体 30 の表面に、一方向に延在するストライプ状の電子放出層 31、絶縁層 32、及び電子放出層 31 と直交する方向に延在するストライプ状のゲート電極層 33 が順次積層され、ゲート電極層 33 と絶縁層 32 とが重複する領域に、これら両層 33、32 を貫通する開口部 34v が設けられている。開口部 34vv の底面に露出した電子放出層 31 の部分が、電子放出部として機能する部分である。開口部 34vv は、ゲート電極層 33 に垂直に穿設された第 1 開口部 33v と、絶縁層 32 に垂直に穿設された第 2 開口部 32v とから成る。第 1 開口部 33v の開口面積  $S_1$  は、第 2 開口部 32v の開口面積  $S_2$  よりも常に大きく ( $S_1 < S_2$ )、従って、開口部 34vv は開口上端部側から開口底面側へ向けて開口面積が不連続に減少した断面プロファイルを有することになる（図 1 のパターン 1b に相当）。垂直な側壁面を有するこれらの開口部 33v、32v の各開口面積  $S_1$ 、 $S_2$  は、深さ方向に一定なので、平均開口面積  $S_{1..}$ 、 $S_{2..}$  と等しい。

【0046】図 4 の (B) は、ゲート電極層 33 と電子放出層 31 とが重複する各領域にそれぞれ 1 個だけ開口部 34vv が形成された状態を例示しているが、実際に表示装置に組み込まれる電界放出素子においては、各領域に複数の開口部 34vv が形成される場合が多い。

【0047】（実施の形態 2）実施の形態 2 は、実施の形態 1 の変形例である。この電界放出素子を、図 5 に示す。ここで、図 5 の (B) は開口部の立体形状を示す概略斜視図であり、図 5 の (A) は図 5 の (B) の X-X 線に沿った 1 つの開口部近傍の模式的な一部断面図である。図 5 の (B) では、図示の都合上、絶縁層と支持体とを省略しているが、絶縁層に設けられた開口部を破線で示す。また、ゲート電極層と電子放出層との距離を、若干拡大して示している。図 5 における開口部 34sv は、傾斜壁を有する第 1 開口部 33s と、垂直壁を有する第 2 開口部 32v とから構成される。しかも、第 1 開口部 33v の下端部の位置と、第 2 開口部 32v の上端

部の位置とが一致している（図 1 のパターン 1 c に相当）。このような場合に、第 1 開口部 3 3 s の開口面積が第 2 開口部 3 2 v の開口面積よりも大きいことを表現するためには、第 1 開口部 3 3 s の開口面積の代表値として、平均開口面積  $S_{1..}$  を採用することが好適である。ここで、第 1 開口部 3 3 s の側壁面の勾配を一定と仮定すると、ゲート電極層 3 3 の厚さ方向の半分の地点における開口面積が、平均開口面積  $S_{1..}$  と等しくなる。第 2 開口部 3 2 v の開口面積  $S_2$  は平均開口面積  $S_{1..}$  と等しい。

【0048】（実施の形態 3）実施の形態 3 は、本発明の表示装置に関する。この表示装置に含まれる電界放出素子は、本発明の第 1 及び第 2 の態様に係る電界放出素子であり、図 6 に示すように、支持体 3 0 の表面に電子放出層 3 1、絶縁層 3 2 及びゲート電極層 3 3 が順次積層され、ゲート電極層 3 3 と絶縁層 3 2 とを貫通する開口部 3 4 s s が設けられている。開口部 3 4 s s の底面に露出した電子放出層 3 1 の部分が、電子放出部として機能する部分である。開口部 3 4 s s は円形の平面形状を有し、ゲート電極層 3 3 に傾斜面をもって設けられた第 1 開口部 3 3 s と、絶縁層 3 2 に傾斜面をもって設けられた第 2 開口部 3 2 s とから成り、第 1 開口部 3 3 s の下端部の位置と第 2 開口部 3 2 s の上端部の位置とは一致している（図 1 のパターン 2 c に相当）。即ち、開口部 3 4 s s の開口面積は、開口上端部側から開口底面側に向かって連続的に減少する。

【0049】支持体 3 0 としては、一例としてガラス基板を使用する。電子放出層 3 1 は、厚さ約  $10\mu\text{m}$ 、幅約  $100\mu\text{m}$  のグラファイト焼結体パターンから成り、約  $120\mu\text{m}$  のピッチでストライプ状に配列されている。グラファイト焼結体パターンは、一例として平均粒径  $4\mu\text{m}$  のグラファイト粒子を含む。絶縁層 3 2 は、厚さ約  $15\mu\text{m}$  の絶縁性ガラス層から成る。ゲート電極層 3 3 は、厚さ約  $10\mu\text{m}$ 、幅約  $100\mu\text{m}$  の銀焼結体パターンから成り、約  $120\mu\text{m}$  のピッチでストライプ状に配列されている。ゲート電極層 3 3 の延在方向は、図 4 にも既に示したように、電子放出層 3 1 の延在方向と直交している。ゲート電極層 3 3 に設けられた第 1 開口部 3 3 s の上端部の直径を  $140\mu\text{m}$ 、下端部の直径を  $120\mu\text{m}$ 、平均開口面積  $S_{1..}$  を  $1.34 \times 10^{-11}\text{m}^2$ 、絶縁層 3 2 に設けられた第 2 開口部 3 2 s の上端部の直径を  $120\mu\text{m}$ 、下端部の直径を  $100\mu\text{m}$ 、平均開口面積  $S_{2..}$  を  $0.96 \times 10^{-11}\text{m}^2$  とする。

【0050】実際に表示装置を構成する際には、上述のような構成を有する電界放出素子が多数配列されたカソードパネル CP とアノードパネル AP とを外周枠を介して対向配置し、両パネル CP、AP と外周枠によって囲まれた空間を真空層とする。アノードパネル AP には、透明支持体表面の電界放出素子との対向面側において R、G、B の 3 色の蛍光体層と、例えば ITO（インジ

ウム・錫酸化物）等の透明導電材料から成るアノード電極層が形成されているが、これらの図示は省略した。電界放出素子とアノードパネル AP とは、外周枠を用いて約  $0.15\text{mm}$  の空間を隔てて対向配置され、この空間の真空度は  $1.3 \times 10^{-4}\text{Pa}$  ( $10^{-4}\text{Torr}$ ) のオーダーに設定されている。このようにして構成される表示装置について、電界強度分布のシミュレーションを行った。電子放出層 3 1 の電位を  $0\text{V}$ 、ゲート電極層 3 3 の電位を  $100\text{V}$ 、アノード電極層の電位を  $5\text{kV}$  に設定した。

【0051】かかるシミュレーション条件により得られた等電位線は、図 6 に示すとおり、アノードパネル AP の表面近傍ではほぼ平行に走るが、電界放出素子の近傍では開口部 3 4 s s の開口上端部側から開口底面側に向かって湾曲し、電界レンズ効果を顕す。この電界レンズ効果により、電子の軌道をアノードパネル AP へ向かう電子の軌道を収束させ、あるいは又、発散を弱めることができる。

【0052】次に、実施の形態 3 にかかる表示装置の電界放出素子を印刷法を主体として製造するプロセスについて、図 7 を参照しながら説明する。まず、図 7 の

(A) に示すように、一例としてガラス基板から成る支持体 4 0 の上に、例えば厚さ約  $10\mu\text{m}$  の下地層 4 0 a を形成する。この下地層 4 0 a は、電子放出層 3 1 を形成するための導電性ペーストの流動抑制を目的として、吸収性のガラス・ペーストを印刷することにより形成される。

【0053】その後、電子放出層 4 1 を形成するため、支持体表面に（より具体的には、下地層 4 0 a の上に）導電性ペーストをストライプ状に印刷する。この導電性ペーストは、導電性物質としてグラファイト粒子、結合剤の一部としてガラス粉末を含有している。ストライプのピッチは、作製しようとする表示装置の画面の画素ピッチに等しい。ここでは、対角寸法  $20\text{インチ}$  の表示装置用の電界放出素子の製造を想定し、各ストライプの幅を  $100\mu\text{m}$ 、ピッチを  $120\mu\text{m}$  とする。実施の形態 3 では、電子放出層 3 1 を貫通する開口部を設けないので、各ストライプに開口部は形成されていない。この後、 $480^\circ\text{C}$  で焼成を行ってグラファイト粉末を焼結させ、図 7 の (B) に示すように、一例として厚さ  $10\mu\text{m}$  の電子放出層 4 1 を形成する。下地層 4 0 a と導電性ペースト中のガラス成分は、グラファイト粒子を支持体 4 0 であるガラス基板上に固着させる働きをする。なお、完成した電子放出層 4 1 に更にプラズマ・エッチング、電気分解、酸洗浄等の処理を施し、グラファイト粒子を活性化させてもよい。

【0054】次に、絶縁層を形成するため、全面に一例としてガラス・ペーストを印刷する。ガラス・ペーストの印刷パターンには、電子放出層 4 1 と後に形成されるゲート電極層 4 3 との重複予定領域において、必要な個

数の第2開口部42sが設けられている。第2開口部42sの側壁面の傾斜は、ガラス・ペーストの自重による「だれ」に起因して自然に形成されるものである。この後、480°Cで焼成を行い、図7の(C)に示すように、一例として厚さ15μmの絶縁性ガラス層から成る絶縁層42を形成する。

【0055】その後、ゲート電極層43を形成するため、絶縁層42の上に一例として銀ペーストをストライプ状に印刷する。ストライプのピッチは、作製しようとする表示装置の画面の画素ピッチに等しい。ここでは、対角寸法20インチの表示装置用の電界放出素子の製造を想定し、各ストライプの幅を100μm、ピッチを120μmとする。この銀ペーストの印刷パターンには、第2開口部42sと位置合わせされた第1開口部43sが形成されている。第1開口部43sの側壁面の傾斜は、銀ペーストの自重による「だれ」に起因して自然に形成されるものである。この後、480°Cで焼成を行い、図7の(D)に示すように、一例として厚さ10μmのゲート電極層43を形成すると、電界放出素子を有するカソードパネルCPを完成させることができる。なお、上述のプロセスでは、電子放出層41、絶縁層42、ゲート電極層43を形成するためのペーストを塗布する毎に焼成を行ったが、電子放出層41を構成するグラファイト粒子は焼成を繰り返すうちに酸素と化合し、二酸化炭素となって消失する可能性もある。それ故、焼成回数を減らすために、各層41、42、43の印刷工程を連続して行い、その後、焼成を行ってもよい。

【0056】一方、アノードパネルAPは、一例としてガラス板から成る透明支持体の表面に、ITOから成るアノード電極層を形成し、更に、アノード電極層の上に蛍光体層をストライプ状又はドット状に形成する。あるいは又、蛍光体層をストライプ状又はドット状に形成した後、その上にアノード電極層を形成してもよい。蛍光体層を構成する蛍光体として、高速電子励起用蛍光体や低速電子励起用蛍光体を用いることができる。

【0057】表示装置を組み立てるには、カソードパネルCPとアノードパネルAPのいずれか一方の表面であって、放出電子軌道を妨げない領域（外縁部）に外周枠を形成し、更に外周枠の近傍に真空封止用フリットを塗布して両パネルCP、APを貼り合わせる。この後、両パネルCP、APと外周枠により囲まれた空間を適切な真空度となるまで排気してから、封止を行う。

【0058】ここで、アノードパネルAP上のアノード電極層の延在方向を水平方向とし、カソードパネルCP上における電子放出層31の延在方向を垂直方向とした場合の表示装置の駆動方法の一例を示す。水平同期信号に従って閾値電界を黒レベルに設定した電圧を電子放出層31に印加する。画像を表示する際には、各画素に対応してサンプリングした画像信号を、対応する画素を構成する電子放出層31及びアノード電極層に印加する。

これにより、各画素は所望の色彩を表示することができ、画像が表示される。

【0059】（実施の形態4）実施の形態4は、本発明の第3及び第4の態様に係る3開口系の電界放出素子に関する。この電界放出素子を、図8に示す。開口部34ssvは、傾斜壁を有する第1開口部33sと、傾斜壁を有する第2開口部32sと、垂直壁を有する第3開口部31vとから構成されている（図3のパターン21cに相当）。第1開口部33sの下端部の位置と、第2開口部32sの上端部の位置とは一致（連続）しているが、第2開口部32sの平均開口面積 $S_{1..}$ は、第1開口部33sの平均開口面積 $S_{1..}$ よりも小さい（ $S_{1..} < S_{1..}$ ）。更に、第3開口部31vの開口面積 $S_3$ は、第2開口部32sの平均開口面積 $S_{1..}$ よりも小さく（ $S_3 < S_{1..}$ ）、且つ、第2開口部32sの下端部の位置と、第3開口部31vの上端部の位置とは一致していない。即ち、不連続である。なお、第3開口部31vの開口面積 $S_3$ は平均開口面積 $S_{1..}$ と等しい。

【0060】電子放出層31に設けられた第3開口部が傾斜壁を有する場合、第3開口部の上端部における開口面積を、第3開口部の下端部における開口面積より大きくしてもよい。即ち、例えば、図8に示した第3開口部31sの開口断面形状を逆テーパー形状としてもよい。この場合には、第3開口部の上端部における開口面積を平均開口面積 $S_{1..}$ とする。また、この場合には、第2開口部32sの下端部の位置と、第3開口部の上端部の位置と一致させず、不連続とする必要がある。

【0061】（実施の形態5）実施の形態5は、本発明の表示装置に関する。この表示装置に含まれる電界放出素子は、本発明の第3及び第4の態様に係る電界放出素子であり、図9に示すように、支持体30の表面に電子放出層31、絶縁層32及びゲート電極層33が順次積層され、ゲート電極層33と絶縁層32と電子放出層31とを貫通する開口部34sssが設けられている。開口部34sssの底面に露出した電子放出層31の部分が、電子放出部として機能する部分である。開口部34sssは円形の平面形状を有し、ゲート電極層33に傾斜面をもって設けられた第1開口部33sと、絶縁層32に傾斜面をもって設けられた第2開口部32sと、電子放出層31に傾斜面をもって設けられた第3開口部33sから成る（図3のパターン22cに相当）。そして、第1開口部33sの下端部の位置と第2開口部32sの上端部の位置、及び第2開口部32sの下端部の位置と第3開口部33sの上端部の位置とは、それぞれ一致している。即ち、開口部34sssの開口面積は、開口上端部側から開口底面側に向かって連続的に減少する。

【0062】電界放出素子の各部の構成材料や寸法は、実施の形態3と同じである。ゲート電極層33に設けられた第1開口部33sの上端部の直径を140μm、下端部の直径を120μm、平均開口面積 $S_{1..}$ を1.3

$4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 、絶縁層 32 に設けられた第 2 開口部 32 s の上端部の直径を  $120 \mu\text{m}$ 、下端部の直径を  $100 \mu\text{m}$ 、平均開口面積  $S_{11}$  を  $0.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 、電子放出層 31 に設けられた第 3 開口部 31 s の上端部の直径を  $100 \mu\text{m}$ 、下端部の直径を  $60 \mu\text{m}$ 、平均開口面積  $S_{11}$  を  $0.53 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  とする。かかる 3 開口系の電界放出素子が多数形成されたカソードパネル CP をアノードパネル AP と組み合わせ、表示装置を構成した場合の電界強度分布のシミュレーションを行った。表示装置の仕様やシミュレーション条件も、実施の形態 3 と共通である。

【0063】シミュレーションにより得られた等電位線は、図 9 に示すとおり、アノードパネル AP の表面近傍ではほぼ平行に走るが、電界放出素子の近傍では開口部 34 s s s の開口上端部側から開口底面側に向かって湾曲し、電界レンズ効果を顕す。ただし、実施の形態 5 における等電位線の湾曲は、図 6 に示した実施の形態 3 における湾曲よりも大きく、従って、電界レンズの収束効果が大きくなっており、放出電子軌道をより狭い範囲内に収束させることが可能となっている。

【0064】かかる 3 開口系の電界放出素子の製造方法は、前述の 2 開口系の電界放出素子の製造方法と基本的に変わらないが、3 開口系では電子放出層 41 に第 3 開口部を設ける必要がある。第 3 開口部の形成は、実施の形態 1 で前述したような印刷法によっても勿論可能であるが、他にも変形例が幾つか考えられるので、以下、図 10 乃至図 12 を参照しながら順次説明する。なお、以下に述べる各方法は、第 3 開口部のパターンを形成しないようにすれば、いずれも、実施の形態 1 ～ 実施の形態 3 におけるストライプ状の電子放出層 41 の形成に適用可能である。

【0065】図 10 は、リソグラフィ法による電子放出層 41 の形成プロセスを説明する概略断面図である。先ず、図 10 の (A) に示すように、一例としてガラス基板から成る支持体 40 の上に、前述と同様に下地層 40 a を形成した後、全面に感光性ペーストを塗布し、感光性ペースト層 41 p を形成する。この感光性ペーストは、ジアゾ化合物等の感光性物質から成る結合剤とグラファイト粒子を含み、スピンコート法により例えば  $1 \mu\text{m}$  の厚さに塗布される。勿論、この厚さは、感光性ペーストの粘度や下地層 40 a との親和性に依りて、適宜選択することができる。

【0066】次に、図 10 の (B) に示すように、フォトリソ法を介し、感光性ペースト層 41 p の選択露光を行う。ここでは、一例としてポジ型の感光性ペーストを使用する。フォトリソ法は、透明なフォトリソマスク基板 50 の一方の表面上に、例えばクロム (Cr) 膜から成る遮光膜パターン 51 が形成されて成る。図 10 の (B) では、フォトリソマスク PM と被露光体を近接配置させたプロキシミティ露光の状態が例示されているが、

露光の形式はコンタクト露光であっても、投影露光であっても構わない。遮光膜パターン 51 が形成されていないフォトリソマスク PM の部分を透過した露光光 h v により、感光性ペースト層 41 の一部に露光部 41 e が形成される。露光光 h v の波長は、必要な解像度に応じて選択することができるが、ここでは近紫外線とする。

【0067】次に、図 10 の (C) に示すように、露光済みの感光性ペースト層 41 を現像し、下地層 40 a 上に露光部 41 e を残す。現像は、炭酸ナトリウム水溶液等のアルカリ現像液を感光性ペースト層 41 に噴霧するか、露光部 e を現像液に浸漬するか、あるいはパドル現像により行う。更に、例えば  $480^\circ\text{C}$  で焼成を行うと、図 10 の (D) に示すように、第 3 開口部 41 v を有する電子放出層 41 を形成することができる。なお、図 10 の (D) に示す第 3 開口部 41 v は垂直壁を有しているが、露光時にデフォーカス露光を行い、感光性ペースト層 41 p の深部における露光量を不足気味とすることにより、傾斜壁を形成することも可能である。

【0068】図 11 は、エッチングによる電子放出層 41 の形成プロセスを説明する概略断面図である。先ず、図 11 の (A) に示すように、一例としてガラス基板から成る支持体 40 の上に、前述と同様に下地層 40 a を形成した後、全面に導電性ペーストを塗布し、導電性ペースト層 41 c を形成する。ただし、この導電性ペースト層 41 c に替えて、蒸着法、スパッタリング法、CVD 法等の公知の薄膜形成技術により導電膜を形成してもよい。次に、導電性ペースト層 41 c の上で常法に従ってレジスト・パターニングを行い、レジスト・パターン 45 を形成する。レジスト・パターン 45 には、第 3 開口部 41 v を規定するためのレジスト開口部 45 a が設けられている。

【0069】次に、図 11 の (B) に示すように、レジスト・パターン 45 をマスクとしてエッチングを行った。このエッチングは、 $20 \text{ kg f/cm}^2 \sim 50 \text{ kg f/cm}^2$  の高圧純水スプレー法によって行った。なお、この段階では、エッチングの代わりにサンドブラスト処理を行ってもよい。

【0070】次に、図 11 の (C) に示すように、レジストを除去する。更に、得られた導電性ペースト層 41 c のパターンを  $480^\circ\text{C}$  で焼成すると、図 11 の (D) に示すように、第 3 開口部 41 v を有する電子放出層 41 を形成することができる。なお、図 11 の (D) に示す第 3 開口部 41 v は垂直壁を有しているが、エッチング時の条件によっては傾斜壁を形成することもできる。例えば、エッチング反応の過程で十分量の堆積性物質が生成する場合には、この堆積性物質がレジスト・パターンの側壁面に堆積して見掛け上のレジスト・パターン幅を経時的に増大させるため、かかるパターンをマスクとしてエッチングされる導電性ペースト層 41 c の加工端面が傾斜壁となる。あるいは、レジスト・

パターン 45 を初めから傾斜壁を有するパターンに形成しておき、レジスト・パターンに対するエッチング選択比を低下させた条件でエッチングを行えば、傾斜したレジスト・パターンのエッジ・プロファイルを被加工層に転写することができる。

【0071】図 12 は、リフトオフ法による電子放出層 41 の形成プロセスを説明する概略断面図である。先ず、図 12 の (A) に示すように、一例としてガラス基板から成る支持体 40 の上に、前述と同様に下地層 40 a を形成した後、常法に従ってレジスト・パターニングを行い、レジスト・パターン 46 を形成する。レジスト・パターン 46 に設けられたレジスト開口部 46 a は、最終的には電子放出層 41 の形成部位を規定する。

【0072】次に、図 12 の (B) に示すように、一例として導電性ペーストを用い、全面に導電性ペースト層 41 c を成膜する。この成膜は、印刷法、蒸着法、スパッタリング法、CVD 法等の方法で行うことができる。

【0073】次に、図 12 の (C) に示すように、有機溶剤等の剥離液を用い、レジスト・パターン 46 を剥離する。この時、レジスト・パターン 46 と共にその直上 20 部の導電性ペースト層 41 c が除去され、レジスト開口部 46 a の内部を埋め込んでいた部分のみが残膜として下地層 40 a 上に残る。更に、焼成を行うと、図 12 の (D) に示すように、第 3 開口部 41 v を有する電子放出層 41 を形成することができる。なお、図 12 の (D) に示す第 3 開口部 41 v は垂直壁を有しているが、レジスト・パターン 46 の断面形状を予め逆テーパー形状に形成しておけば、レジスト開口部を埋め込むように形成される導電性ペースト層 41 c の残膜は、上記の逆テーパー形状とは相補的な形状を有することになり、傾斜壁を形成 30 することが可能となる。

【0074】ところで、上述の各実施の形態においては、電界放出素子に含まれる電子放出層を、グラファイト焼結体にて構成したが、グラファイト粒子を含有する電子放出層を用いた電界放出素子は、従来にも知られていた。しかし、従来知られる電界放出素子は、グラファイト粒子を誘電体層中に含有させたり、あるいは非絶縁性の結合剤を用いて柱状体の先端部に固着させており、グラファイト粒子が誘電体層や結合剤に被覆されてしま 40 うと、電子放出が阻害されるという問題があった。これに対し、本発明では、グラファイト粒子は基本的にはファンデルワールス力を利用して支持体の表面に（下地層の表面を含む）に固着され、結合剤を併用する場合でも、結合剤層の厚さをグラファイト粒子を埋没させない程度の薄さとするれば、電子放出が何ら妨げられることがない。

【0075】以上、実施の形態に基づき本発明を説明したが、本発明はこれらの実施の形態に何ら限定されるものではなく、電界放出素子の構造の細部、製造方法における加工条件や使用した材料等の詳細事項に関しては、 50

適宜変更、選択、組合せが可能である。例えば、電界放出素子とアノードパネル A P との間の距離は約 0.15 mm に限定されるものではなく、表示装置の仕様に準じて 0.1 ~ 1 mm とすることができる。

【0076】

【発明の効果】以上の説明からも明かなように、本発明においては、収束電極のような余分の部材を用いることなく、電界放出素子の構成に本来必要な部材のみを使用し、パターン上の工夫によって放出電子軌道を収束させ、あるいは又、発散を抑制することができる。その結果、煩雑なプロセスを経る必要が一切なく、高い製造歩留まりとスループットを期待することができる。また、開口部の開口面積、開口部の側壁面を構成する各層の厚さ、不連続部の有無、不連続部の数や大きさ、傾斜面の有無、傾斜面の勾配等の様々な要素により放出電子軌道を制御できるため、制御の自由度も高い。従って、平面電極型の表示装置の大画面化に容易に対応することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の電界放出素子において、2 開口系として可能なパターンを一覧表形式で示す概念図である。

【図 2】本発明の電界放出素子において、3 開口系として可能なパターン中、絶縁層が垂直なグループを一覧表形式で示す概念図である。

【図 3】本発明の電界放出素子において、3 開口系として可能なパターン中、絶縁層が傾斜したグループを一覧表形式で示す概念図である。

【図 4】発明の実施の形態 1 の電界放出素子を示す図であり、(A) は開口部近傍を示す X-X 線断面図、

(B) は開口部の立体形状を示す概略斜視図である。

【図 5】発明の実施の形態 2 の電界放出素子を示す図であり、(A) は開口部近傍を示す X-X 線断面図、

(B) は開口部の立体形状を示す概略斜視図である。

【図 6】発明の実施の形態 3 の表示装置における電界強度分布をシミュレーション結果に基づいて示す模式図である。

【図 7】発明の実施の形態 3 の表示装置内に組み込まれた電界放出素子を、印刷法を主体とするプロセスで作製する手順を示す支持体等の模式的な一部断面図であり、

(A) は下地層の印刷工程、(B) は電子放出層の印刷・焼成工程、(C) は絶縁層の印刷・焼成工程、(D) はゲート電極層の印刷・焼成工程をそれぞれ表す。

【図 8】発明の実施の形態 4 の電界放出素子を示す図であり、(A) は開口部近傍を示す X-X 線断面図、

(B) は開口部の立体形状を示す概略斜視図である。

【図 9】発明の実施の形態 5 の表示装置における電界強度分布をシミュレーション結果に基づいて示す模式図である。

【図 10】3 開口系における電子放出層をリソグラフィ法により形成する手順を示す模式的な一部断面図であ

り、(A)は感光性ペーストの塗布工程、(B)は露光工程、(C)は現像工程、(D)は焼成工程をそれぞれ表す。

【図11】3開口系における電子放出層をエッチングにより形成する手順を示す模式的な一部断面図であり、

(A)はレジスト・パターニング工程、(B)はエッチング工程、(C)はレジスト除去工程、(D)は焼成工程をそれぞれ表す。

【図12】3開口系における電子放出層をリフトオフ法により形成する手順を示す模式的な一部断面図であり、

(A)はレジスト・パターニング工程、(B)は導電性ペースト層の成膜工程、(C)はリフトオフ工程、

(D)は焼成工程をそれぞれ表す。

【図13】平面電極型の表示装置の電界放出素子に収束電極を設けた状態を示す模式的な一部断面図であり、

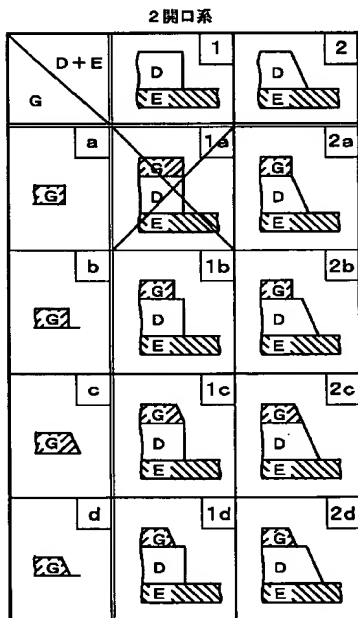
(A)は絶縁性の支柱部と導電膜から成る収束電極を設けた例、(B)は導電材料から成る収束電極を設けた例をそれぞれ表す。

【符号の説明】

30、40・・・支持体、30a、40a・・・下地層、31、41・・・電子放出層、31v、41v・・・第3開口部(垂直壁)、31s、41s・・・第3開口部(傾斜壁)、32、42・・・絶縁層、32v、42v・・・第2開口部(垂直壁)、32s、42s・・・第2開口部(傾斜壁)、33、43・・・ゲート電極層、33v、43v・・・第1開口部(垂直壁)、33s、43s・・・第1開口部(傾斜壁)、34、44・・・開口部、41p・・・感光性ペースト層、41e・・・露光部、CP・・・カソードパネル、AP・・・アノードパネル

【図1】

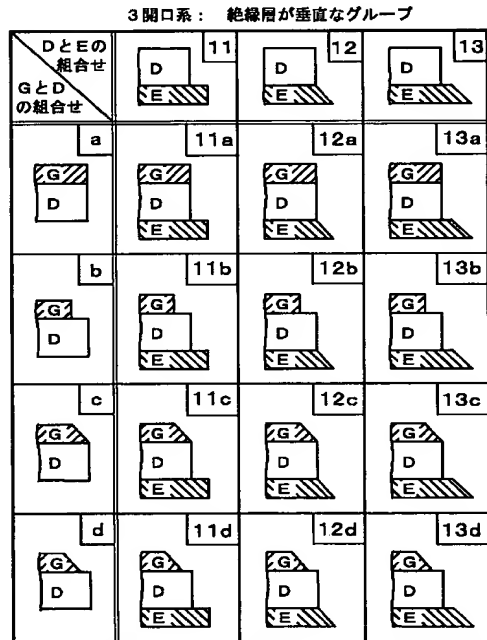
【図1】



G : ゲート電極層 D : 絶縁層 E : 電子放出層

【図2】

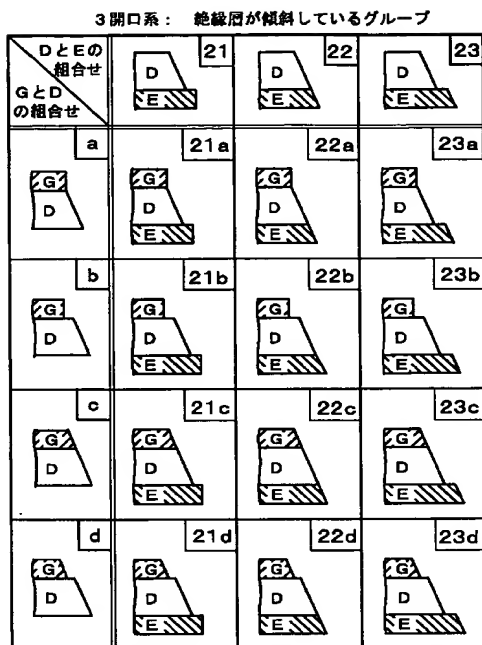
【図2】



G : ゲート電極層 D : 絶縁層 E : 電子放出層

【図3】

【図3】



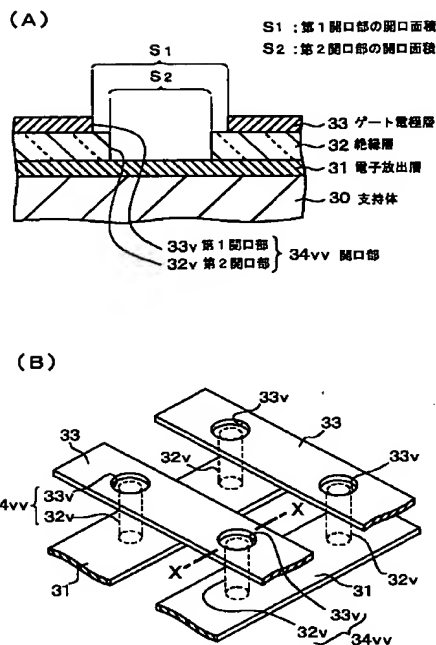
G : ゲート電極層

D : 絶縁層

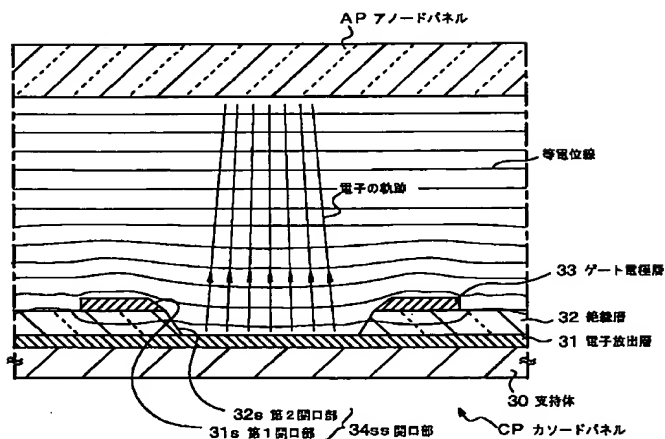
E : 電子放出層

【図4】

【図4】



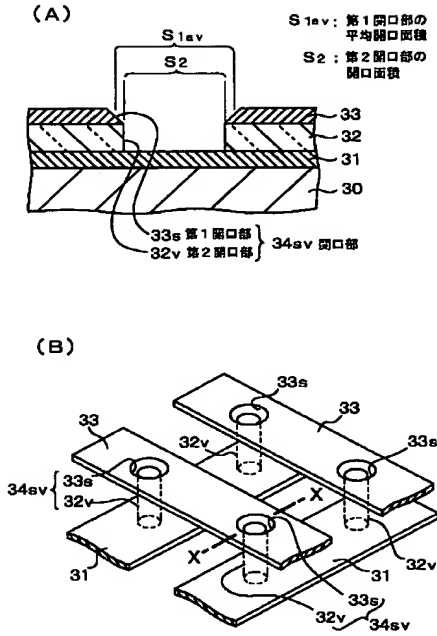
【図6】



【9図】

【図5】

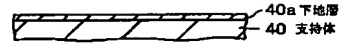
【図5】



【図7】

【図7】

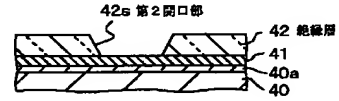
(A) 印刷



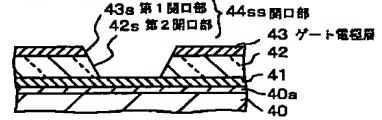
(B) 印刷・焼成



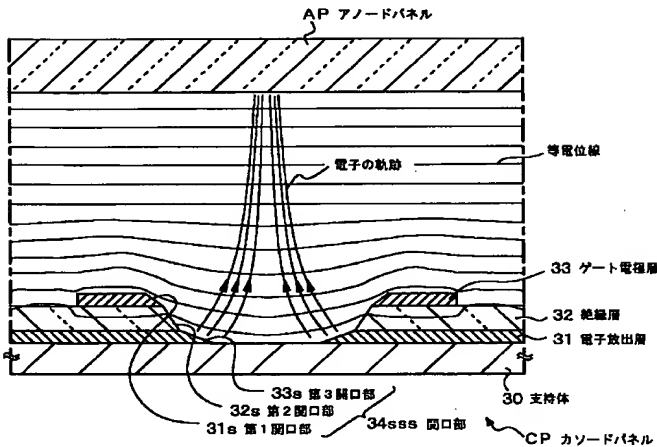
(C) 印刷・焼成



(D) 印刷・焼成



【図9】

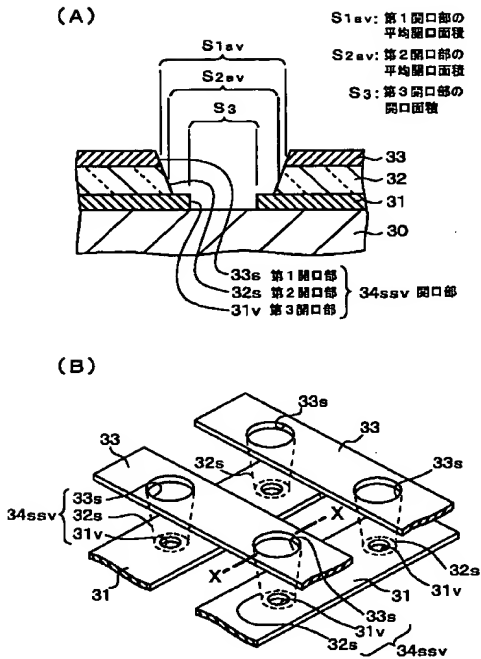


【図9】



【図8】

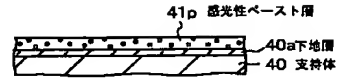
【図6】



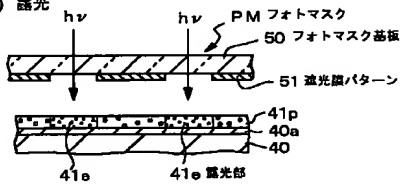
【図10】

【図10】

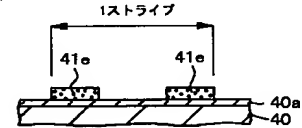
(A) 塗布



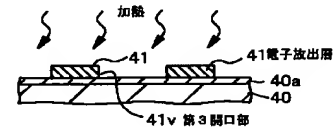
(B) 露光



(C) 現像



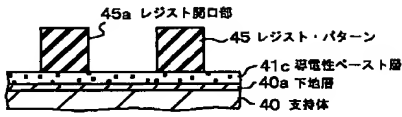
(D) 焼成



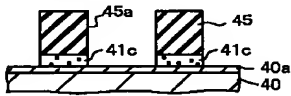
【図 11】

【図 11】

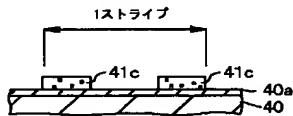
## (A) レジスト・パターニング



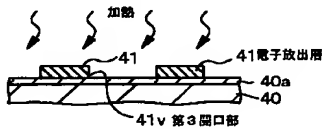
## (B) エッチング



## (C) レジスト除去



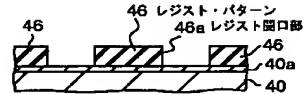
## (D) 焼成



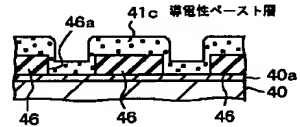
【図 12】

【図 12】

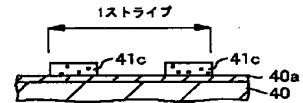
## (A) レジスト・パターニング



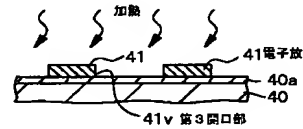
## (B) 成膜



## (C) リフトオフ



## (D) 焼成



BEST AVAILABLE COPY

【例 13】

